



#5

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 101 25 610.8

**Anmeldetag:** 25. Mai 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Computersystem zur Durch-  
führung einer Simulation

**IPC:** G 06 F 17/50

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 26. Juli 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Ebert

## Beschreibung

Verfahren und Computersystem zur Durchführung einer Simulation

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und System zur Durchführung einer Simulation.

10

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Computerprogramme zur Durchführung von Simulationen, beispielsweise nach der finiten Elemente Methode, bekannt. Solche Computerprogramme werden auch als CAD-, CAE-, EDA- und EDM- Tools bezeichnet. Anbieter von solchen Tools sind beispielsweise die Firmen ANSYS, INC. ([www.ansys.com](http://www.ansys.com)), CADENCE DESIGN SYSTEMS, INC. ([www.cadence.com](http://www.cadence.com)), FLOMERICS, INC. ([www.flomerics.com](http://www.flomerics.com)), ITI GmbH Dresden ([www.iti.de](http://www.iti.de)), SimLab Software GmbH ([www.simlab.de](http://www.simlab.de)), The Mathworks, Inc. ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)).

15

20

25

30

Solche Computerprogramme werden für Simulations- und Entwurfszwecke auf allen technischen Gebieten eingesetzt, z.B. zur Simulation von technischen Komponenten und Systemen. Beispielsweise erlaubt die Software der Firma ITI GmbH die Modellierung elektrisch-mechanischer Antriebsstränge, verbrennungsmotorischer und Hybrid-Antriebe in Kraftfahrzeugen, Schiffen, Transporteinrichtungen, Maschinen, Getriebe- und Bremsanlagen, Gurtförderanlagen; die Modellierung mechatronischer Systeme, Vorschubantriebe in Werkzeugmaschinen, Positioniersystemen, Wandlerüberbrückungssystemen; die Regleroptimierung hydraulischer Antriebssysteme, Pumpen- und Windenantriebe, Ventilmodellierung und -Ansteuerung sowie die Simulation von Brems- oder Kupplungsbetätigungssystemen und die Prüfstandsimulation.

35

Ein besonders wichtiges Gebiet für den Einsatz von Simulationstools ist das Gebiet der Elektrotechnik und Elektronik, insbesondere der Entwurf von elektrotechnischen und elektronischen Geräten und Schaltungen. Zur Simulation unterschied-

licher Aspekte des betreffenden Geräts oder Schaltung werden dabei üblicherweise verschiedene Simulations-Tools angewendet. Beispielsweise ist zur Simulation der thermischen Erwärmung aufgrund der Verlustleistung von Strömen in einem Gerät  
5 ein anderes Simulations-Tool erforderlich als beispielsweise für die Simulation von dessen mechanische Eigenschaften.

Nachteilig bei aus dem Stand der Technik bekannten Simulations-Tools ist, dass diese nur einen Teilaspekt hinsichtlich  
10 des Simulations- und Entwurfsprozesses beantworten, ohne miteinander integriert zu sein.

Durch sogenannte Co-Simulationen wurde versucht die zu simulierenden Probleme auf einer gemeinsamen Plattform vereinfacht zu beschreiben (Schwarz, P.: KOSIM - A multi-level simulator for the design of integrated circuits. In: H. Reichl (Ed.): Proc. MICRO SYSTEM Technologies, 10.-13. Sep., Springer, Berlin 1990, pp. 85-90).

20 Bei der Co-Simulation werden vor allem Verhaltensmodelle verarbeitet, zu deren Erstellung bereits die Kenntnis des wesentlichen Verhaltens des zu beschreibenden Objektes notwendig ist (vgl. Völklein, F.; Zetterer, T.: Einführung in die Mikrosystemtechnik. Grundlagen und Praxisbeispiele; Vieweg-  
25 Verlag, Wiesbaden 2000, Sn. 292-326; Schwarz, P.; Haase, J.: Behavioural Modeling of Complex Heterogeneous Microsystems; Proc. 1st Intern. Forum on Design Languages (FDL'98), Lausanne, Sept. 1998, vol. 2, 53-62; Schwarz, P.: Modellierung und Simulation heterogener Systeme. Foliensatz; Dresdner Arbeitstagung "Schaltungs- und Systemsimulation" DASS'98, Dresden, 25.05.1998; Franke, T.; Fröhler, U.: Thermal Modelling of Semiconductor Packages; Proc. Thermnic'00 Workshop, Budapest, September 25-27th, 2000).

35 Ein Nachteil dieser aus dem Stand der Technik bekannten Simulationsverfahren mit Co-Simulatoren ist, dass die automatisierten Routinen hinsichtlich deren Anwendung beschränkt sind

und die Erstellung allgemein verwendbarer Bibliothekselemente wegen des eingeschränkten Gültigkeitsbereichs dieser Modelle sowie einer beschränkten örtlichen Auflösung nicht möglich ist. Die Anwendung dieser Simulations-Tools ist ebenso wie  
5 deren Kopplung deshalb auf ausgewählte Teilaspekte beschränkt.

Weitere Beispiele für solche Simulations-Tools sind Fluid-Simulatoren, Thermo-Simulatoren, Schaltungs-Simulatoren, Si-  
10 mulatoren zur Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), Mechanik-Simulatoren und weitere CAX-, EDA-, EDM- Tools.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein verbessertes Verfahren und System zur Simulation zu schaffen.  
15

Das der Erfindung zu Grunde liegende Problem wird jeweils mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprü-  
20 che angegeben.

Die Erfindung erlaubt es die mittels verschiedener Simulations-Tools gewonnenen Ergebnisse als Bibliothekselemente in einer Datenbank abzulegen. Auf die einzelnen Bibliotheksele-  
25 mente kann dann je nach der zu simulierenden Fragestellung zugegriffen werden und die Bibliothekselemente können miteinander kombiniert werden, um so ein Simulationsmodell zu schaffen, welches domänenübergreifend ist.

30 Die so erhaltenen Systemmodelle oder Teile davon können wiederum in dauerhafte oder temporäre Bibliothekselemente überführt werden. Dadurch kann der Abstraktionsgrad für definierbare Systembereiche verändert und die Größe der zu berechnenden Matrix ohne Genauigkeitsverlust reduziert werden.

35 In einer bevorzugten Ausführungsform werden bei der Zusammenführung der Bibliothekselemente, dem sogenannten Merger, ne-

ben der Lösung der Berechnungsaufgaben für die Zwecke der Simulation die Ergebnismatrix expandiert und Grafiken für die grafische Darstellung des Simulationsergebnisses generiert.

- 5 Von besonderem Vorteil ist dabei, dass eine vereinfachte simultane Berechnung verschiedener physikalischer Domänen oder Entitäten beliebig komplexer Systeme ohne Verlust an Auflösung und Information ermöglicht ist.
- 10 Ferner erlaubt die Erfindung eine Kopplung mit einer Entwicklungsdatenbank, in welcher die Bibliothekselemente gemeinsam mit den allgemeinen Eigenschaften der Objekte hinterlegt sind und auf welche auch die verschiedenen Computerprogramme zur Simulation zugreifen können. Dabei können die Elemente und
- 15 Objekte direkt oder als attributive Verweise auf andere rechen-technisch zugängliche Quellen (z.B. über Hyperlink) in der Datenbank hinterlegt sowie auch anderen Tools zur Verfügung gestellt werden - wie z.B. anderen Datenports, Simulatoren und Einrichtungen zur Maschinensteuerung. Dadurch kann
- 20 ein durchgängig rechnergestützter Entwicklungsprozess unter Einbeziehung der verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette (vertikale Integration) als auch ein sogenanntes concurrent engineering (horizontale Integration) geschaffen werden.
- 25 Ferner gestattet die vereinheitlichte und im Rechenaufwand reduzierte Modellstruktur deren umfassende Einbindung in die technischen Systeme selbst, wie z.B. in einer Maschinensteuerung.
- 30 Von besonderem Vorteil ist der veränderbare Abstraktionsgrad der aus Bibliothekselementen generierten und vernetzten Systemmodelle. Durch die Verknüpfung der verschiedenen Simulationsprogramme über ein Datenbanksystem mit entsprechenden Bibliothekselementen lassen sich die verschiedenen Simulations-
- 35 programme auf eine gemeinsamen Plattform zusammenführen, wobei die Vorzüge der einzelnen Spezialsimulationsprogramme voll erhalten bleiben. Dadurch lassen sich inkompatible

Schnittstellen zwischen den verschiedenen Spezialsimulationsprogrammen eliminieren.

Es ist auch möglich verschiedene Simulationsprogramme desselben Simulations-Tools zu verwenden; dabei ist im Vergleich zur herkömmlichen Verwendung des Tools von besonderem Vorteil, dass sich der Gesamt-Rechenaufwand durch die Verwendung von Bibliothekselementen reduzieren lässt, insbesondere aus dem Grunde, dass die Bibliothekselemente bzw. die darin abgebildeten Gleichungssysteme eine gegenüber der herkömmlichen Verwendung eines Standard-Tools reduzierte Dimension aufweisen.

Ferner kann ein mittels der Lehre der Erfindung erstelltes Simulationsmodell selbst wieder Grundlage für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erstellung eines weiter abstrahierten Systemmodells sein.

Ein weiterer Vorteil ist die Minimierung des Gesamtberechnungsaufwandes, dadurch dass aus den die Übertragungsfunktionen beinhaltenden Matrizen nicht relevante Matrixelemente entfernt werden können. Dies vereinfacht die Simulation komplexer Systeme. Dieser Vorteil besteht sowohl im Falle der Verwendung eines einzelnen Matrix bzw. Bibliothekselements als auch bei Verknüpfung zweier oder mehrerer Matrix bzw. Bibliothekselemente zu einem Systemmodell.

Insbesondere erlaubt die Verminderung des Berechnungsaufwandes auch die Verknüpfung der Modelle mit Automatisierungssystemen, so dass für die Zwecke der Maschinensteuerung unmittelbar aus dem Entwurfsprozess ein Maschinenmodell für die Zwecke der Maschinensteuerung und Regelung resultiert.

Ferner erlaubt es die Erfindung auch Simulationen über das Internet durchzuführen, insbesondere auch unter dem Aspekt der sogenannten Collaboration. Z.B. lassen sich die Simulationaufgaben entlang der Wertschöpfungskette zielgerichtet

verteilen. So kann die Erstellung eines Bibliothekselements beim Lieferanten eines bestimmten Aggregats erfolgen. Der Kunde kann dieses Bibliothekselement dann in die Simulationsdatenbank aufnehmen, um flexible Systemmodelle je nach Fragestellung unter Verwendung des von dem Lieferanten zur Verfügung gestellten Bibliothekselement automatisch zu generieren.

Die Erfindung wird im Weiteren anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

10

FIG 1 ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

FIG 2 ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels zur Erzeugung eines Systemmodells aus Bibliothekselementen,

15

FIG 3 die Verknüpfung zweier Vektormodelle,

FIG 4 ein Flussdiagramm eines Simulationssystems,

FIG 5 die Einbindung verschiedener Simulatoren in das Simulationssystem.

20

Die FIG 1 zeigt ein Flussdiagramm zur Erzeugung verschiedener Bibliothekselemente für die Zwecke der Simulation. In dem Schritt 1 werden zunächst die Knoten  $\mu$  und  $v$  eines Vektormodells hinsichtlich der Simulation eines Zusammenhangs zwischen einer Entität E1 und E2 festgelegt.

25

Unter dem Begriff Entität wird im Weiteren eine bestimmte Größe, beispielsweise eine physikalische, technische oder sonstige Größe, verstanden. So handelt es sich etwa bei elektrischem Strom und elektrischer Spannung jeweils um zwei unterschiedliche Entitäten, wie auch bei der Temperatur, der thermischen Ausdehnung, der mechanischen Kraft, der mechanischen Spannung, der Fluidität, der Strömungsgeschwindigkeit, der Reibungsverluste etc.

35

Bei dem Knoten  $\mu$  handelt es sich um solche Knoten des Vektormodells, an denen eine Beaufschlagung mit einer Entität E1

erfolgen kann. Bei dem Knoten  $v$  des Vektormodells handelt es sich hingegen um Knoten an denen eine resultierende Entität  $E2$ , beispielsweise die Spannung, ausgegeben wird. Bei dem Knoten  $v$  wird zwischen zwei Teilmengen von Knoten  $v^*$  und  $v^+$  unterschieden:

Bei dem Knoten  $v^*$  handelt es sich um solche Knoten  $v$ , zu denen neben der Ausgangsgröße der Entität  $E2$  an dem betreffenden Knoten auch eine Beaufschlagung mit der Entität  $E1$  erfolgen kann. Dagegen kann eine solche Beaufschlagung mit der Entität  $E1$  an den Knoten  $v^+$  nicht erfolgen; die Knoten  $v^+$  dienen lediglich zur Ausgabe der Ausgangsgröße der Entität  $E2$  aufgrund der Beaufschlagung der Knoten  $\mu$  mit der Entität  $E1$ .

In dem Schritt 2 erfolgt die Auswahl eines beliebigen Referenzpunkts des Vektormodells, welcher als Bezugspunkt für die Systemmatrix sowie für die Gewichtung der Antwortfunktionen bei der späteren Simulation dient. In dem Schritt 3 erfolgt sodann die Simulation der Übertragungsfunktionen  $K_{\mu,v}$ . Dabei werden beispielsweise je zwei Knoten  $v, v$  ausgewählt und hinsichtlich dieses Knotenpaars mittels eines geeigneten Simulations-Programms die simulierte Übertragungsfunktion ermittelt. Dies erfolgt für alle mögliche Knotenpaare des in dem Schritt 1 definierten Vektormodells.

In dem Schritt 4 werden die in dem Schritt 3 gewonnenen Übertragungsfunktionen  $K_{\mu,v}$  in Matrizen  $M_{E1}(K_{\mu,v^*})$  und  $M_{E1}(K_{\mu,v^+})$  zusammengefasst. Die Matrizen  $M_{E1}(K_{\mu,v^*})$  und  $M_{E1}(K_{\mu,v^+})$  beschreiben also das Übertragungsverhalten des Systems hinsichtlich der Beaufschlagung mit der Entität  $E1$  als Eingangsgröße und der Entität  $E2$  als Ausgangsgröße. Für die weiteren Berechnungen können die Matrizen auch als Streumatrizen, Kettenmatrizen oder in einer anderen Form dargestellt werden; entsprechende Darstellungen sind bekannt aus Gerstenmaier et. al. Proceedings of the 4th International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems (MSM2001), March 19-21, 2001, pp.84-87. Die erstgenannte Matrix beinhaltet dabei diejenigen Über-



tragungsfunktionen  $K_{\mu, v}$  die aus Knotenpaaren von Knoten  $\mu$  und Knoten  $v^*$  resultieren. Dagegen beinhaltet die zweite Matrix  $M_{E1} (K_{\mu, v^*})$  diejenigen Übertragungsfunktionen  $K_{\mu, v}$ , die sich aus Paarungen von Knoten  $\mu$  und Knoten  $v^*$  ergeben. Die beiden  
 5 so generierten Matrizen werden dann in einer Datenbank gespeichert.

In dem Schritt 5 erfolgt danach die Definition eines weiteren Vektormodells hinsichtlich der Auswirkung der Entität E2 auf  
 10 eine Entität E3. Die Definition des Vektormodells erfolgt in dem Schritt 5 analog zu der Vorgehensweise in dem Schritt 1 hinsichtlich der Knoten  $\mu'$  und  $v'$ . Entsprechend erfolgt in dem Schritt 6 die Auswahl eines weiteren beliebigen Referenz-  
 punktes sowie die Simulation der entsprechenden Übertragungs-  
 15 funktionen  $K_{\mu', v'}$  in dem Schritt 7. Zur Simulation der Übertragungsfunktionen in dem Schritt 7 wird dabei ein weiteres spezialisiertes Simulationsprogramm eingesetzt, welches den Zusammenhang zwischen der Entität E2 und der Entität E3 simulieren kann.

20 Analog zu dem Schritt 4 erfolgt dann in dem Schritt 8 die Ausgabe der entsprechenden Matrizen  $M_{E2} (K_{\mu', v^{**}})$  und  $M_{E2} (K_{\mu', v^{*'}})$ .

25 Die FIG 2 veranschaulicht die Schritte zur Kombination der in den Schritten 4 und 8 der FIG 1 erzeugten Bibliothekselemente der Datenbank. In dem Schritt 20 erfolgt zunächst die Verknüpfung der Vektormodelle. Dies geschieht durch Zuordnung der entsprechenden Eingangs- und Ausgangsgrößen. Beispielwei-  
 30 se kann eine Teilmenge der Knoten  $v$  als Eingangsgrößen für die Knoten  $\mu'$  des zweiten Vektormodells hinsichtlich der Abbildung der Entität E2 auf die Entität E3 dienen (vgl. FIG 1 Schritte 1 und 5).

35 Entsprechend der Verknüpfung der Vektormodelle in Schritt 20 erfolgt in dem Schritt 21 eine Verknüpfung der entsprechenden Matrizen. Aus dieser Verknüpfung der Matrizen ergibt sich in

dem Schritt 22 ein Systemmodell zur Simulation des Zusammenhangs zwischen der Entität E1 und der Entität E3. Dabei ist besonders vorteilhaft, dass dieses Systemmodell automatisch aus den zuvor generierten Bibliothekselementen erzeugt werden  
 5 kann, ohne dass weitere Simulationen erforderlich sind.

Die FIG 3 zeigt ein Vektormodell 30 mit einem Referenzpunkt  $P_1$  und Knoten  $\mu$ ,  $v^*$  und  $v^+$ . Durch die Pfeile in den Verbindungen zwischen dem Referenzpunkt und den entsprechenden Knoten ist die Richtung der Beaufschlagung mit der Entität E1  
 10 definiert. An den Knoten  $v^+$  erfolgt definitionsgemäß keine Beaufschlagung mit der Entität E1.

Ferner zeigt die FIG 3 die Verknüpfung des Vektormodells 30 mit einem weiteren Vektormodell 31. Das Vektormodell 30 entspricht dabei beispielsweise dem Vektormodell, das im Schritt 1 der FIG 1 definiert wurde; das Vektormodell 31 entspricht  
 15 beispielsweise dem in dem Schritt 5 der FIG 1 definierten Vektormodell. In dem betrachteten Beispiel erfolgt die Koppelung der Vektormodelle über deren Referenzpunkte  $P_1$  und  $P_2$ .  
 20

Die Erzeugung der Matrizen bzw. Bibliothekselemente - vgl. die Matrizen  $M_{E1}(K_{\mu,v^*})$ ,  $M_{E2}(K_{\mu,v^+})$  in Schritt 4 bzw. 8 der FIG 1 - kann dabei durch Beaufschlagung eines Knoten  $\mu$  mit einem  
 25 Einheitssprung  $F_{reference-\mu}^-$  erfolgen. Aus der zwischen dem Punkt  $v$  und dem Referenzpunkt  $P_1$  bzw.  $P_2$  ermittelten Antwort  $\Delta D$  auf den Einheitssprung lässt sich dann die Übertragungsfunktion  $K_{\mu,v}$  ermitteln.

$$30 \quad K_{\mu,v}(t) = \Delta D_{reference-v}(t) / F_{reference-\mu}^-(t) \quad | \quad \forall \mu, v$$

$$F_{reference-\mu}^-(t < 0) = 0 \quad ; \quad F_{reference-\mu}^-(t \geq 0) = \text{const} \neq 0$$

$$\mu \in \{v \mid \exists F_{reference-v}^- \neq 0\}$$

Für jedes Knotenpaar wird eine solche Übertragungsfunktion  
 35  $K_{\mu,v}$  gesondert ermittelt, so dass man insgesamt eine Anzahl von  $\mu * v$  Matricelementen erhält.

Im Folgenden ist eine mögliche Berechnungsroutine zur Berechnung der Ausgangsgrößen an den Knoten  $v^*$  mittels Randbedingungen  $K_{v^*-equilibrium}(t)$  und den Übertragungsfunktionen bei Anregung mit einer Funktion  $F_{v^*}(t)$  angegeben:

5

$$\Delta D_{reference-v^*}(t) = \sum_{\mu=1}^n (K_{\mu v^*}(t) * F_{\mu}(t)) \quad | \forall v^*$$

$$D_{v^*}(t) = K_{v^*-equilibrium}(t) * F_{v^*}(t) + D_{equilibrium}(t) \quad | \forall v^*$$

$$D_{reference}(t) = D_{v^*}(t) + \Delta D_{reference-v^*}(t) \quad | \forall v^*$$

10

$$F_{reference}(t) = \sum_{v^*=1}^n F_{v^*}(t)$$

$$v^* \in \{v \mid \exists F_{reference-v} \neq 0\}$$

Hinsichtlich der oben genannten Formeln ist vorausgesetzt, dass der Referenzpunkt P1 bzw. P2 nicht auf einem Knoten

15 liegt, welcher einer Randbedingung  $K_{v^*-equilibrium}(t)$  zugeordnet ist.

Prinzipiell ist jedoch eine völlig beliebige Wahl des Referenzpunkts möglich, wobei die oben genannten Gleichungen dann entsprechend angepasst werden müssen. Bei beliebiger Wahl des Referenzpunktes und bei Beaufschlagung der Knoten  $\mu$  mit einer

20 Einspeisung ergibt sich folgendes erweitertes Gleichungssystem:

$$\Delta D_{reference-v^*}(t) = \sum_{\mu=1}^n (K_{\mu v^*}(t) * F_{\mu}(t)) \quad | \forall v^*$$

$$D_{v^*}(t) = K_{v^*-equilibrium}(t) * F_{v^*}^K(t) + D_{equilibrium}(t) \quad | \forall v^*$$

25

(veränderte Indizierung für  $F(t)$ )

$$D_{reference}(t) = K_{reference-equilibrium}(t) * F_{reference}^K(t) + D_{equilibrium}(t) \quad (\text{zusätzlich})$$

$$D_{reference}(t) = D_{v^*}(t) + \Delta D_{reference-v^*}(t) \quad | \forall v^*$$

30

$$F_{reference}(t) = \sum_{v^*=1}^n F_{v^*}(t)$$

$$F_{v^*}(t) = F_{v^*}^K(t) + F_{v^*}^U(t) \quad | \forall v^* \quad (\text{zusätzlich})$$

$$F_{reference}(t) = F_{reference}^K(t) + F_{reference}^U(t) \quad (\text{zusätzlich})$$

$$v^* \in \{v \mid \exists F_{reference-v}^- \neq 0\}$$

mit

5

$K_{reference-equilibrium}(t)$  - Randbedingung am Referenzknoten

$F_{reference}^K(t)$  ;  $F_{v^*}^K(t)$  - Anteil der anregenden Funktion  $F_{reference}(t)$  bzw.  $F_{v^*}(t)$ , welcher von der jeweiligen Randbedingung  $K_{reference-equilibrium}(t)$  bzw.  $K_{v^*-equilibrium}(t)$  abhängig ist

10

$F_{reference}^U(t)$  ;  $F_{v^*}^U(t)$  - Anteil der anregenden Funktion  $F_{reference}(t)$  bzw.  $F_{v^*}(t)$ , welcher von der jeweiligen Randbedingung  $K_{reference-equilibrium}(t)$  bzw.  $K_{v^*-equilibrium}(t)$  unabhängig ist

15

Für diese Berechnung sind lediglich  $\mu * v^* = \mu^2$  an Stelle von  $\mu * v$  Matrixelementen erforderlich. Die restlichen  $\mu(v-v^*)$  Elemente tragen zur eigentlichen Lösung nicht bei und können deshalb aus der Matrix entfernt werden.

20

Im Folgenden ist ein Beispiel für eine Expansionsroutine zur Ermittlung der nicht in der Berechnung zur berücksichtigenden Elemente angegeben:

25

$$\Delta D_{reference-v^*}(t) = \sum_{\mu=1}^n (K_{\mu v^*}(t) * F_{\mu}(t)) \quad | \forall v^*$$

$$v^* \notin \{v \mid \exists F_{reference-v}^- \neq 0\}$$

30

Ferner ist im Folgenden eine Expansionsroutine zur Ermittlung nicht explizit im Modell berücksichtigter Größen unter Rückgriff auf bekannte Objekteigenschaften angegeben:

$$f_v^{grad} = -\lambda_v \cdot \text{grad } D_v \quad | \forall v$$

$$f_v^{div} = \text{div } f_v^{grad} \quad | \forall v$$

Dabei ist der Gradient ein unmittelbares Ergebnis der obigen Berechnung und  $\lambda_v$  ist ein aus der Datenbank abrufbares Objektattribut.

5 Die FIG 4 zeigt ein Flussdiagramm eines integrierten Systems zur Erstellung von Bibliothekselementen, zur Erstellung von Systemmodellen, Durchführung von Simulationen und Ausgabe von Simulationsergebnissen, welches verschiedene Simulationsprogramme miteinander integriert.

10

In dem Schritt 40 wird zunächst der „Merger“, dass heißt das integrierte Simulationsverfahren, aufgerufen. In dem Punkt 41 wird dann geprüft, ob das Programm wieder geschlossen werden soll; wenn dies der Fall ist, so erfolgt die Schließung des  
15 Programms in dem Schritt 42.

In den Schritten 43, 44, 45 und 46 wird sodann der gewünschte Arbeitsmodus des Programms abgefragt. In dem Schritt 43 kann der Modus „Element erstellen?“ zur Erstellung eines neuen  
20 Bibliothekselements gewählt werden. In dem Schritt 44 kann der Modus „System erstellen“, indem ein Systemmodell erstellt und in der Bibliothek abgelegt wird, gewählt werden.

In dem Schritt 45 kann der Modus „System berechnen“ ausgewählt werden, in dem eine Simulation mittels aus der Bibliothek geladenen Systemmodells und die Ausgabe des Ergebnisses in die Bibliothek erfolgt. In dem Schritt 46 kann der Modus „Ergebnisse darstellen“ gewählt werden. In diesem Modus werden die Ergebnisse aus der Bibliothek geladen und in dem  
25 gewünschten Format ausgegeben.  
30

Erfolgt in dem Schritt 43 die Wahl des Modus „Element erstellen“, so wird in dem Schritt 47 das entsprechende Tool aufgerufen und in dem Schritt 48 das entsprechende Vektormodell  
35 geladen. In dem Schritt 49 werden die Übertragungsfunktionen für das entsprechende Modell mittels eines entsprechenden

spezialisierten Simulationsprogramms bestimmt und als Parameter extrahiert.

In dem Schritt 50 wird das Tool wieder geschlossen und in dem Schritt 51 wird das Bibliothekselement initialisiert. Das Bibliothekselement wird dann in dem Schritt 52 in einer Datenbank-Bibliothek abgelegt.

Erfolgt hingegen in dem Schritt 44 die Wahl des Modus „System erstellen“, so wird in dem Schritt 53 die entsprechende Datenbank-Bibliothek geöffnet und die benötigten Bibliothekselemente bzw. Matrizen werden in dem Schritt 54 geladen. In dem Schritt 55 werden diese Elemente zur Verknüpfung miteinander angeordnet, so dass in dem Schritt 56 eine Initialisierung des Systemmodells erfolgen kann. Dieses Systemmodell wird in dem Schritt 57 in die Datenbank-Bibliothek abgelegt.

Erfolgt in dem Schritt 54 die Wahl des Modus „System berechnen“, so wird wiederum in dem Schritt 58 die entsprechende Datenbank-Bibliothek geöffnet, um in dem Schritt 59 das zuvor generierte Systemmodell zu laden.

In dem Schritt 60 wird die Berechnung zur Simulation mittels des Systemmodells initialisiert und in dem Schritt 61 wird die entsprechende Berechnung ausgeführt. Die Ergebnisse der Berechnung werden in dem Schritt 62 in der Datenbank-Bibliothek abgelegt.

Erfolgt in dem Schritt 46 die Wahl des Modus „Ergebnisse darstellen“, so wird in dem Schritt 63 wiederum die Datenbank-Bibliothek geöffnet, um die zuvor in dem Schritt 62 abgelegten Ergebnisse wieder zu laden. Ferner werden in dem Schritt 65 die Objekteigenschaften geladen, um eine Expansion der Ergebnisse in dem Schritt 66 durchzuführen. In dem Schritt 67 kann der Nutzer die Darstellungsart der Ausgabe bzw. das Darstellungsformat auswählen. In dem Schritt 68 werden die Ergebnisse dann in der gewählten Darstellung ausgegeben.

Zur weiteren Vereinfachung der Benutzung des integrierten Simulationssystems kann dieses auch über einen Browser über das Internet zugänglich gemacht werden, um die Implementierung vernetzter Anwendungen zu erleichtern.

5

Wenn bereits eine Datenbank-Bibliothek mit zuvor generierten Bibliothekselementen existiert, können die einzelnen Funktionalitäten (Element erstellen, System erstellen, System berechnen, Ergebnisse darstellen) auch unabhängig und/oder parallel verwendet werden.

10

Die FIG 5 zeigt ein Blockschaltbild der Verbindung des Merger-Tools der FIG 4 mit verschiedenen Simulationsprogrammen. Das System der FIG 5 weist eine allgemeine Entwicklungsdatenbank 50 auf, in der unterschiedliche Daten für die Zwecke der Entwicklung eines technischen Systems oder einer technischen Komponente abgelegt sind, insbesondere auch textuelle Informationen und Zeichnungen sowie weitere diesbezügliche Daten.

15

Auf die allgemeine Entwicklungsdatenbank 50 greifen die Simulationsprogramme 71 bis 76, das heißt Fluid-Simulator 71, Thermo-Simulator 72, Schaltungs-Simulator 73, EMV-Simulator 74, Mechatronik-Simulator 75 und weitere CAX-, EDA- und EDM-Tools 76 zu. Diese Simulationsprogramme 71 bis 76 sind ebenfalls mit dem Merger-Tool 77 verbunden.

20

Dadurch wird eine integrierte Entwicklungsumgebung geschaffen, die es auch ungeübten Benutzern erlaubt, komplexe Simulationaufgaben zu lösen. Der Ausgang des Merger-Tools 77 kann dabei dazu verwendet werden, ein mittels des Merger-Tools 77 erzeugtes Maschinenmodell in die Maschinensteuerung 78 zu laden. Ferner ist das Merger-Tool 77 auch mit der allgemeinen Entwicklungsdatenbank 70 verbunden, um die Ergebnisse des Merger-Tools 77 in der allgemeinen Entwicklungsdatenbank 70 abzulegen.

25

30

35

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erstellung einer Datenbank zur Durchführung einer Simulation mit folgenden Schritten:

- 5 a) Festlegung von ersten Punkten, an denen die Beaufschlagung mit einer ersten Entität erfolgt,
- b) Festlegung von zweiten Punkten mit einer zweiten Entität als Ausgangsgröße, wobei die zweiten Punkte in eine erste Teilmenge und in eine zweite Teilmenge unterteilt sind,
- 10 und an den zweiten Punkten der ersten Teilmenge die Beaufschlagung mit der ersten Entität erfolgt,
- c) Ermittlung der Übertragungsfunktionen zwischen je einem der ersten Punkte und einem der zweiten Punkte mittels eines ersten Simulationsprogramms,
- 15 d) Speicherung einer ersten Matrix mit den Übertragungsfunktionen zwischen den ersten Punkten und den zweiten Punkten der ersten Teilmenge und Speicherung einer zweiten Matrix mit den Übertragungsfunktionen zwischen den ersten Punkten und den zweiten Punkten der zweiten Teilmenge,
- 20 e) wiederholte Durchführung der Schritte a bis d hinsichtlich der zweiten Entität und einer dritten Entität mittels eines zweiten Simulationsprogramms.

2. Verfahren nach Anspruch 1 mit folgenden weiteren Schritten:

- 25 a) Zugriff auf die erste Matrix und die zweite Matrix,
- b) Verknüpfung der ersten und der zweiten Matrix zur Verknüpfung der zu Grunde liegenden Vektormodelle,
- c) Speicherung der verknüpften ersten und zweiten Matrix als
- 30 Systemmodell.

3. Simulationsverfahren mit folgenden Schritten:

- a) Laden eines Systemmodells aus einer mit einem Verfahren nach Anspruch 2 erstellten Datenbank,
- 35 b) Initialisierung der Simulation,
- c) Berechnung der Simulation unter Berücksichtigung von Randbedingungen



d) Speicherung der Simulationsergebnisse.

4. Simulationsverfahren nach Anspruch 3, bei dem das Systemmodell aus nur der ersten Matrix besteht.

5

5. Simulationsverfahren nach Anspruch 3, bei dem das Systemmodell aus der Verknüpfung von zumindest der ersten und der zweiten Matrix besteht.

10 6. Verfahren zur Darstellung der Ergebnisse einer Simulation mit folgenden Schritten:

a) Laden der Ergebnisse eines Simulationsverfahrens nach Anspruch 3, 4 oder 5,

b) Expandieren der Ergebnisse,

15 c) grafische Ausgabe der Ergebnisse.

20 7. Computerprogrammprodukt auf einem computerlesbaren Medium mit computerlesbaren Programmmitteln zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird.

8. Computersystem mit Mitteln zur Durchführung der Schritte nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6.

## Zusammenfassung

### Verfahren und Computersystem zur Durchführung einer Simulation

5

In einem integrierten Simulationsverfahren und System werden zunächst erste Punkte festgelegt, an denen die Beaufschlagung mit einer ersten Entität erfolgt sowie zweite Punkte mit einer zweiten Entität als Ausgangsgröße, wobei die zweiten

10

Punkte in eine erste Teilmenge und in eine zweite Teilmenge unterteilt sind, und hinsichtlich der zweiten Punkte der ersten Teilmenge ebenfalls eine Beaufschlagung erfolgt. Die Berechnung der Übertragungsfunktion zwischen Punktepaaren erfolgt dann mit einem Simulationsprogramm, so dass entsprechende Matrizen von Übertragungsfunktionen resultieren. Entsprechende Matrizen werden auch hinsichtlich weiterer Entitäten generiert. Die entsprechenden Vektormodelle und Matrizen können zur Erzeugung flexibler Systemmodelle miteinander verknüpft werden.

15

Entsprechende Matrizen werden auch hinsichtlich weiterer Entitäten generiert. Die entsprechenden Vektormodelle und Matrizen können zur Erzeugung flexibler Systemmodelle miteinander verknüpft werden.

20

FIG 1

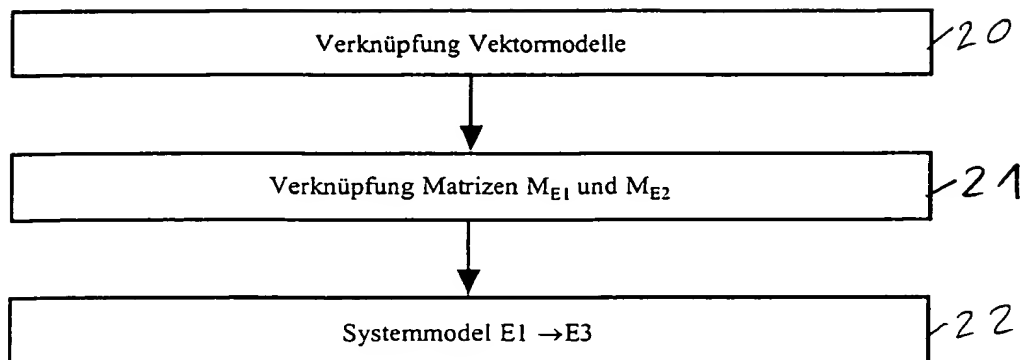


Fig. 2

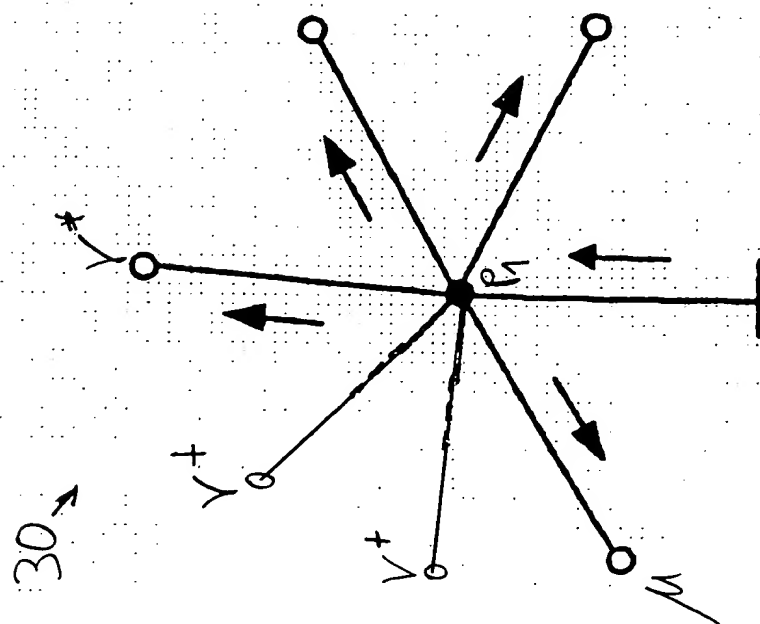
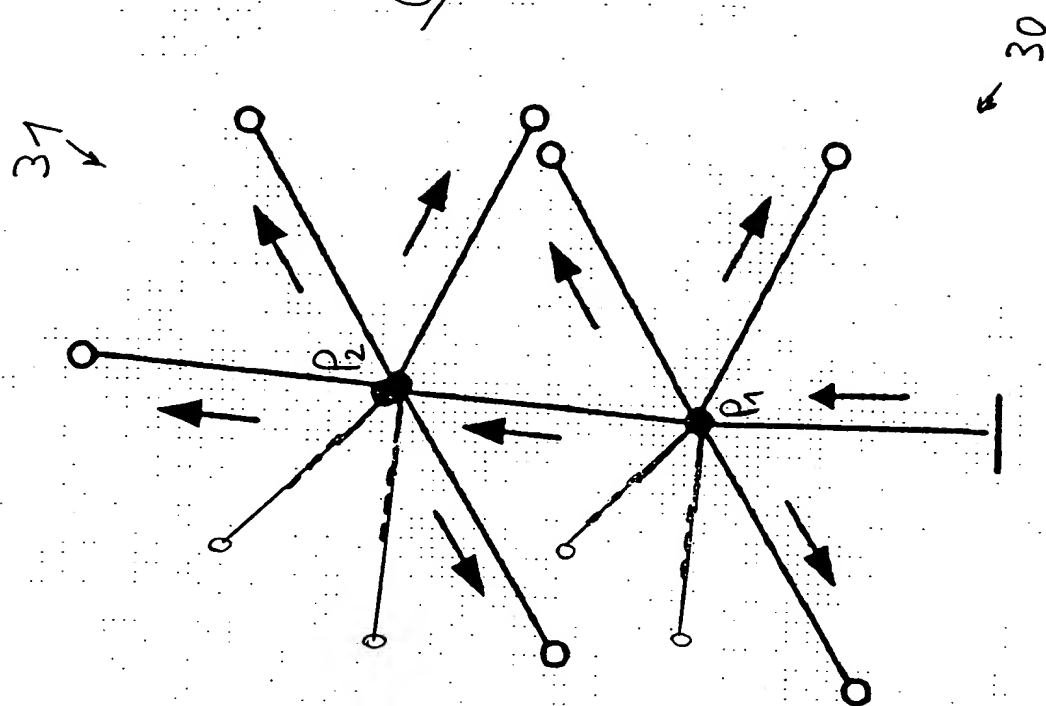


Fig. 3

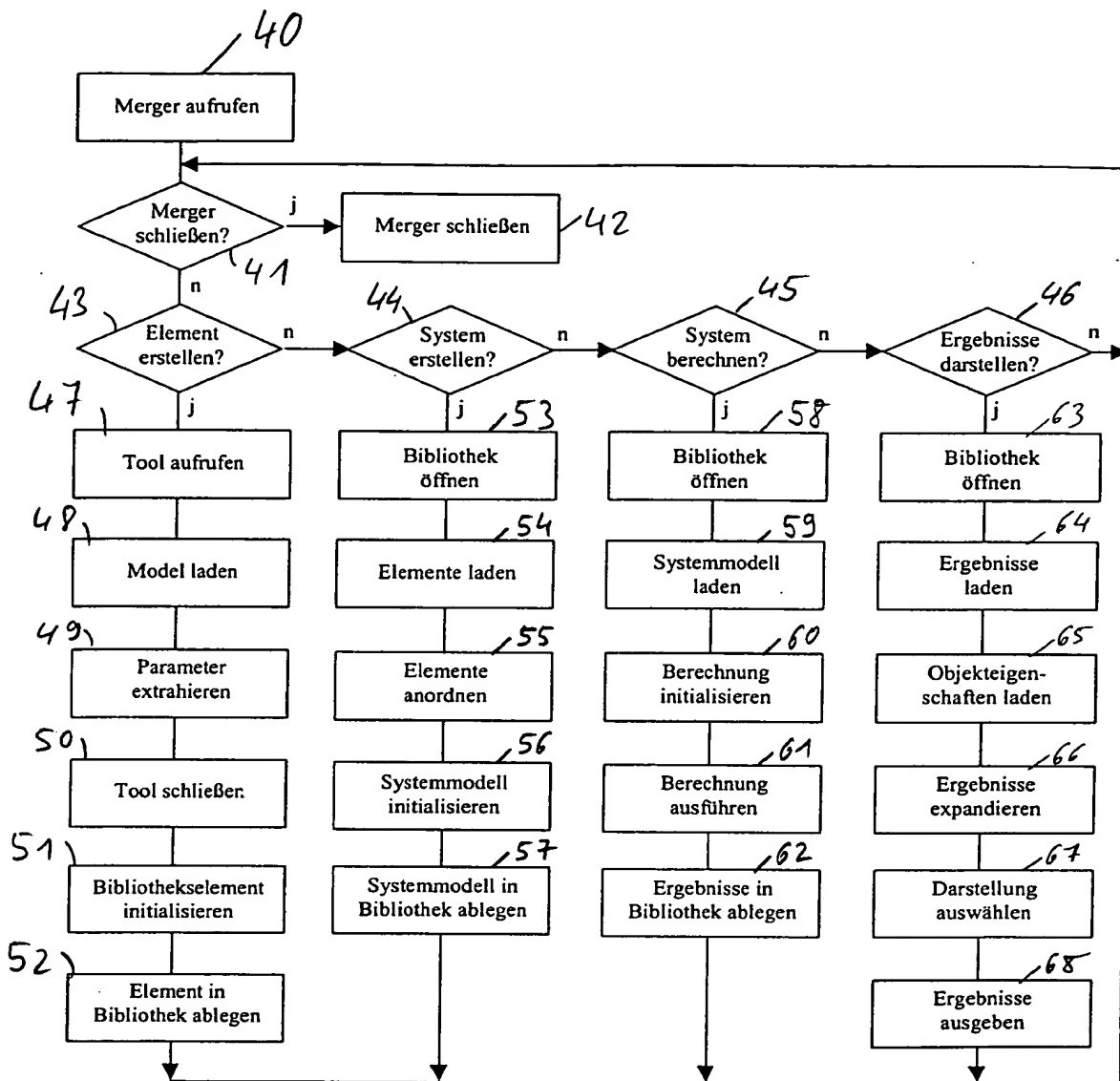


Fig. 4

200105178

5/5

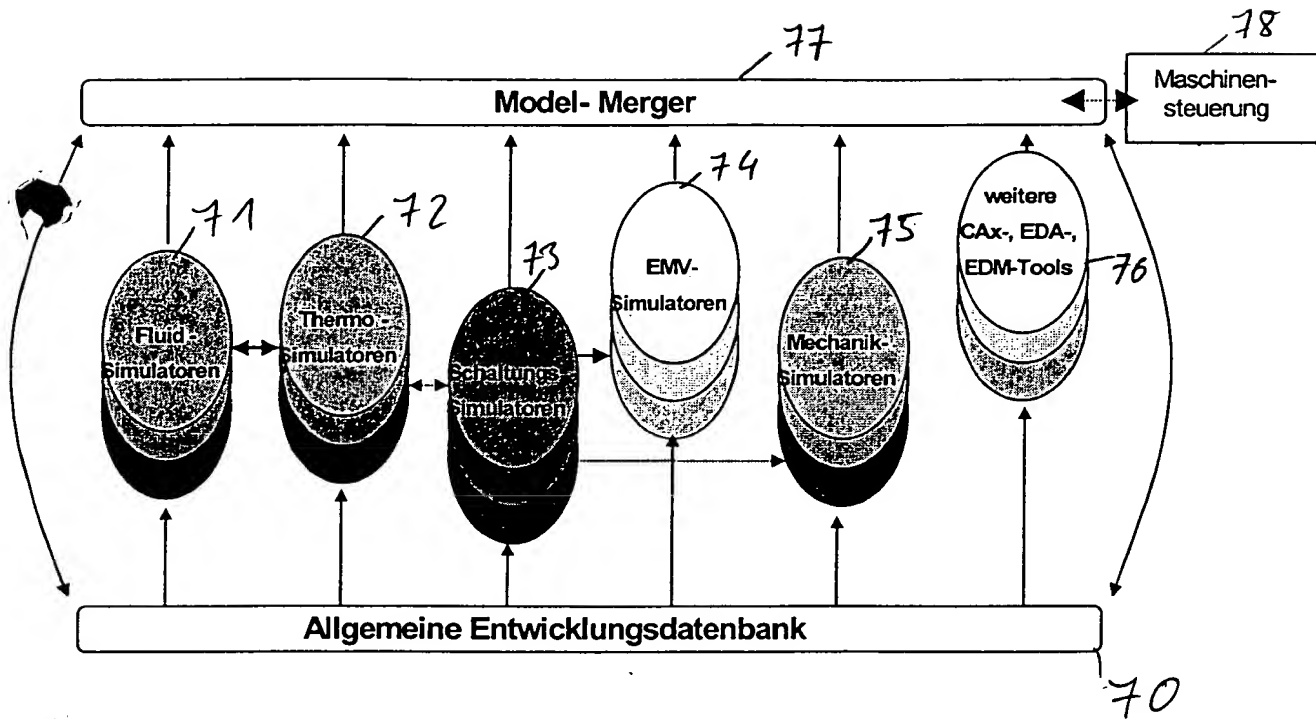


Fig. 5



Creation date: 06-01-2004

Indexing Officer: ~~ANKIPIGI~~ ~~ALLISON NKPIG~~ 50f10149

Team: OIPEScanning

Dossier: 09927861

Legal Date: 09-14-2001

No.	Doccode	Number of pages
1	CTMS	1

Total number of pages: 1

Remarks:

Order of re-scan issued on .....